

Z Á R Ó J E L E N T É S

**Kálmán Béla: „Fotoszférikus horizontális áramlások vizsgálata” c.
T037426 sz. OTKA pályázatáról**

1. Bevezetés

Eredeti munkatervemben a szuperaktív NOAA 9371-9393-9433-9461 aktív vidék fejlődésének vizsgálatát tüntettem fel célul, amely 9393 korában (2001. márc. 24 – ápr. 5 közt) rendkívül nagy aktivitást mutatott, emiatt sok megfigyelési anyag gyűlt össze róla, mind Debrecenben, mind a SOHO, TRACE és YOHKOH űrszondák adatbázisaiban. A munka kezdetekor ezért elkezdtem összegyűjteni a vonatkozó adatokat, elsősorban TRACE fotoszféra-észleléseket és SOHO MDI magnetogramokat. Ezek alapján szándékoztam vizsgálni a napfolt-umbrák mozgását és a foltcsoport mágneses fejlődését a nagy flerek előtt és után. Az anyaggyűjtés közben figyeltem fel a Nap áttellenes oldalán fejlődő NOAA 9373 aktív vidékre, amely lényegesen kevésbé volt aktív, viszont fejlődés szempontjából talán még érdekesebbnek is bizonyult. Első pillantásra egyszerű bipoláris napfoltcsoportnak tűnt, azonban láthatósága (2001. márc. 9 – 21.) alatt folyamatosan bukkantak fel benne újabb és újabb bipoláris napfoltcsoportok, ráadásul egészen szokatlan foltmozgások is történtek. Az eredeti vezető folt ugyanis előremozgása közben otthagyta a foltcsoport követő részét, másfél fokot elmozdult déli irányba, és új követő részt növesztett magának. Ez teljességgel szokatlan fejlődés, mivel általános esetben a napfoltcsoportok vezető és követő részei kelet – nyugati irányban mutatnak széttartó mozgást fejlődésük során. Emiatt ezt az aktív vidéket választottam ki a további munka céljából, és ebben az irányban folytattam az anyaggyűjtést, arra gondolva, hogy egy ilyen, látszólag egyszerű napfoltcsoport mozgásait talán könnyebb áttekinteni, és valamilyen információt szerezni a felszín alatti fejlődésről.

2. A megfigyelési anyag és feldolgozási módszerek

2.1. A megfigyelések

Debrecenben a NOAA 9373 aktív vidék átvonulása alatt (2001. márc. 9 – 21.) folytak a napi rendszeres fotoszféraészlelések, naponta 2, 3 felvételtől álló sorozat készült. Időjárási okok miatt csak március 15., 16., 17., 18. és 20-án vannak rendes sorozatok, a többi napokon kevesebb felvétel készült, 13-14-én egyáltalán nincs felvétel. Ez a szokásos tavaszi földfelszíni megfigyelések sajátossága.

A *SOHO* adatbázisából az MDI műszer által 96 perces intervallumonként rendszeresen készített teljes napkorongra vonatkozó magnetogram-sorozatok lett felhasználva. Az eredeti FITS formátumú képekből mindössze a márc. 16., 20:48 UT-kor készítendő mérés hiányzott, e helyett a közvetlenül megelőző lett felhasználva (itt és a továbbiakban az időpontok világidőben vannak megadva). E magnetogramok képmérete 1024x1024, így egy pixel durván 2 látszó ívmásodpercrek felel meg.

A *TRACE* műhold egyik alkotója szerint nem más, mint egy fényképezőgép, amely állandóan fényképezi a Napot, különböző szűrőkön keresztül. Képei szintén 1024x1024 méretűek. Mivel ezek felbontása 0,4993 ívmásodperc/pixel, ezért a kb. 1800 ívmásodperc átmérőjű napkorongnak csak egy kisebb részletét (egy-két aktív vidéket) tudja leképezni. Különböző színszűrőivel fehér fényben a fotoszférát, közeli ibolyántúli (UV) fényben

(tipikusan 1600 \AA – nál) a kromoszférát, a többszörösen ionizált vasatomok távoli ibolyántúli (EUV) színeképvonalainak fényében pedig a napkoronát fényképezi. A koronafelvételekre leginkább a kilencszeresen ionizált vas (Fe X) 171 \AA hullámhosszúságú színeképvonalát használják, amelynek keletkezési hőmérséklete $1,3$ millió K. A TRACE alapfeladata a kromoszféra-korona átmeneti réteg és a napkorona tanulmányozása, ezért többnyire az UV – EUV tartományban végzi a megfigyeléseket, de (szerencsére) $8 - 10 - 20$ percenként készít fotoszféra-felvételeket is. A különböző szűrőkkel, de azonos távcsővel készült felvételek méretaránya azonos, az egyes szűrők közt kis, de meghatározott és állandó eltolódás van, ezt ismerve a képek tökéletesen fedésbe hozhatók, így a Nap légkörének magssági szerkezete vizsgálható. A TRACE az első mesterséges hold, amely nagyfelbontású fotoszféraképeket készít a légkörön kívülről.

Adatbázisából kiderült, hogy – más, érdekesebb objektum a Napnak ezen az oldalán nem lévén, – 2001. márc. 11. és 21. közt a NOAA 9373 aktív vidék lett részletesen észelve. Először a SOHO MDI magnetogramokhoz időben legközelebbi fotoszféraképek lettek letöltve, de ezek tanulmányozása után célszerűnek tűnt a mozgások vizsgálatára kb. 15 percenként, egyes esetekben a lehető legnagyobb időbeli felbontásra törekedve 8 percenként készült fotoszféra-felvételeket is beszerezni. Ezek feldolgozása során, részben kiegészítésként, koronaképek (171 \AA) is lettek letöltve. A napkoronában a fotoszféránál lényegesen gyorsabb változások is történnek, ezért ezeknek a képeknek az időbeli felbontása néha 1 percnél is jobb, de mivel a vizsgálat a napfoltcsoport általános fejlődésére irányul, ezért csak egy-egy, a fotoszféraképekhez legközelebbi jó kép lett letöltve. Később a kromoszféra-aktivitás (kisebb flerek) pontos helyének meghatározására az 1600 \AA tartományban készült kromoszféraképek is be lettek szerezve.

Kizárólag kiegészítésként, a napkorona általános fejlődésének jellemzésére a YOHKOH koronaképeiből is lett letöltve napi $2-3$ db., ezeknek a felbontása ($2-4$ ímásodperc) elmarad a TRACE képektől, de más hőmérsékletekre érzékeny, ezért segíthet az értelmezésben. A felsorolt, több Gbyte-nyi adat kikeresése és letöltése is elég sok időt vett igénybe.

2.2. A feldolgozás módszerei

A debreceni fotohéliogramok feldolgozására már régóta kidolgozott programok vannak, amelyek segítségével a napfoltok heliografikus koordinátáit mérésekből meg lehet határozni. A SOHO magnetogramok esetében ezeket szinte változtatás nélkül lehetett alkalmazni, mivel a képek a teljes napkorongot tartalmzták, a FITS fejléc pedig a szükséges adatokat (napkorong sugara, középpontjának koordinátái, stb.). A TRACE esetében szintén a FITS fejlécben szerepeltek a szükséges adatok, itt képi (pixel) koordinátákban meg van adva a napkorong sugara és középpontjának a helyzete, a koordinátaszámolás ezért nem jelentett nehézséget. A számítástechnika fejlődésével pedig elérhetővé vált, hogy elviselhető idő alatt teljes képeket, vagy azoknak kisebb részleteit át lehessen számolni heliografikus koordinátákba. A napfoltcsoportokon belüli mozgások és fejlődés vizsgálatában ugyanis meg kell szabadulni a Nap forgása miatt keletkező perspektíva-változások hatásaitól. Néhány évvel korábban még a napfoltcsoportok kontúrjait mértem ki, és az így mért néhány ezer pont transzformálásából adódott a foltcsoport korrigált képe, jelenleg már nem okoz gondot egy fénykép milliónyi képpontjának transzformálása sem.

A napfizikában gyakran okoz gondot a különböző információk egyidejű megjelenítése, pl. a napfoltok és mágneses terük ugyanazon képen történő ábrázolása. Kicsit is bonyolult foltcsoportban a mozgások jellege erősen függ az adott umbra vezető v. követő polaritásától.

A számítástechnika itt is segít: lehetséges a színeket felhasználni a különböző információk ábrázolására. Már a színes fényképezés idején alkalmazták azt az eljárást, hogy a három különböző alapszint használták három különböző mérés v. kép egyidejű megjelenítésére, de a számítógépes képfeldolgozás ennél bonyolultabb feldolgozást (és egyszerűbben felfogható képeket) is lehetővé tesz. Az előbb említett ábrázoláshoz fejlesztettem ki azt a módszert, amely szerint a fotoszféraképeken a *szín* (kék v. piros) jelöli a mágneses polaritást, ennek *telítettsége* pedig a mágneses tér erősségét. Kissé bonyolítva a feldolgozást, el lehet érni, hogy a kép *intenzitása* megfeleljen az eredeti fotoszféraképnek, így szürkeárnyalatosan kinyomtatva pontosan azonos legyen, színesben viszont az adott hely *színessége* jellemezze a mágneses teret. Szerencse, hogy a legerősebb mágneses tér a fotoszférában a napfoltok sötét umbráiban van, így nem okoz problémát, hogy a 100%-osan telített kék szín mindössze 0,11 intenzitásnak felel meg. Az ilyen módszerrel készült képeket l. a 3. fejezetben.

A fotoszféraképeket és magnetogramokat lehetett kiteríteni a héliografikus koordináta-rendszerbe, és így összekombinálni, mivel ezek alapvetően a Nap felületén, a fotoszférában vannak. A napkoronaképek és fotoszféraképek összehasonlításában viszont csak az eredeti, perspektíva által torzított képek jöhetnek szóba, mivel a napkorona erősen térbeli szerkezetű. Itt is lehetséges a különböző képek intenzitás és szín szerinti kombinálása (l. 4. fejezet), a fotoszféra- és koronaképé mindenképpen, lehet, hogy még a mágneses teret is sikerül hozzátenni. A szín-tér mindenesetre 3 dimenziós, tehát elvileg lehetséges, kérdés még, hogy a gyakorlatban felfogható lesz-e.

Szintén jól ismert módszer a napfizikában a felgyorsított mozgókép. Az egyébként nem túl feltűnő, lassú mozgások a felgyorsított filmen sokkal jobban észrevehetők, jellegük feltárul. A különböző sebességekhez más és más gyorsítás az optimális. Ezért készítettem a (mágneses terekkel kombinált) fotoszféraképekből különböző időfelbontású animációkat. Ezeken, különösen, ha QuickTime formátumban játsszuk le, amelynek a lejátszója lehetővé teszi, hogy az egér mozgatásával tetszőlegesen előre-hátra mozgassuk a filmet, nagyon jól látható a napfoltcsoport fejlődése, az egyes mágneses polaritások, dipólrendszer viselkedése. A napkorona-animációkban pedig nyomon követhető az új mágneses tér felbukkanása, behatolása a napkoronába, valamint a régi és új mágneses tér kölcsönhatása (vagy annak hiánya, ami a csekély aktivitást magyarázza).

Az új megfigyelési technikák, az adatokat ontó mesteréges holdak és elektronikus kamerák hozták a lehetőségét a csík-kamerás feldolgozásoknak. Ez azt jelenti, hogy egy napfolt szélességi v. hosszúsági koordináta-változását úgy ábrázoljuk, hogy az egyenletes időközönként készülő képekből mindig azt a képpont-sort (oszlopot) vágjuk ki, amelyik átmegy a napfolt középpontján, és ezeket a csíkokat rendezzük össze egy képpé. Ekkor a kép egyik oldala az időnek felel meg, a másik pedig a szélesség (hosszúság). A mozgás, és annak az egyenletestől való eltérése nagyon jól látható (l. 3. fejezet, ezen tűnt fel a TRACE irányzási hibájának periodikussága, l. alább 2.3.).

2.3. A feldolgozás problémái

A kutatás elején optimista voltam, a koordinátaszámolásokhoz minden szükséges adat szerepelt az egyes képek FITS fejlécében, a régóta kipróbált feldolgozóprogramokon csak kis módosítások voltak szükségesek az újtípusú ki- és bemeneti adatokhoz. Meglepő volt tehát, amikor a TRACE fotoszféraképek és a SOHO MDI magnetogramok összeillesztésénél kis, de határozott elcsúszások voltak (a napfolt-umbráknak egybe kell esni a mágneses tér maximumaival). Ezért nem maradt más hátra, mint az egyes TRACE képek kézi korrekciója,

azaz néhány pixeles eltolása. Két okból is a TRACE volt a gyanús, egyrészt a SOHO képein rajta volt az egész napkorong, másrészt a SOHO három tengely mentén napperem és csillagérzékelők szerint stabilizált, a TRACE viszont csak a földi mágneses tér alapján van tájolva. Az első TRACE animációk végignézése ki is mutatott egy kis, de zavaró képmozgást. Az animáció a napfelszín egy részletét mutatta, amelyen fejlődött, mozgott a napfoltcsoport, de az egészben volt egy periodikus kis, néhány tized héliografikus foknak megfelelő imbolygás. Mivel ez valamivel nagyobb volt, mint az egyes kis pórúszók, amelyek mozgását vizsgáltam, módot kellett találnom a kiküszöbölésére. A mágneses terek esetében a SOHO MDI képekhez illesztettem a TRACE képeket (a SOHO MDI képek a debreceni héliogramok eredményeivel is egyeztek, tehát megbízhatóbbak voltak), az egyes kisebb, érdekes mozgású pórúszók esetében pedig a környezet átlagát vettem alapul. A csík-kamerás koordinátaváltások alapján sikerült megállapítani, hogy a hiba periodikus, még hozzá a TRACE keringési idejével azonos periódussal. Más kutatóknak ez eddig valószínűleg azért nem tűnt fel, mert a koronaképek esetén az ottani struktúrák elmosódottabbak és gyorsabban változnak. Mindenesetre ezeknek a korrekcióknak a meghatározása és kivitelezése hosszabb időt vett igénybe, mint maga a feldolgozás. Sokkal egyszerűbb volt azoknak a képeknek (7 db. az 1084-ből) a kijavítása, amelyekben valamilyen szinkronizációs hiba miatt a kép egyik oszlopában 256 byte-nyi üres képpont toldódott be, ezáltal elcsúsztatva a kép kisebb-nagyobb részét. Az eredeti fájlból kivágva a zavaró részt, és ismét végigfuttatva a feldolgozási programsoron a hiba ki lett javítva.

3. Eredmények

(Részben a Solar Physics számára publikálásra előkészítés alatt álló kézirat alapján)

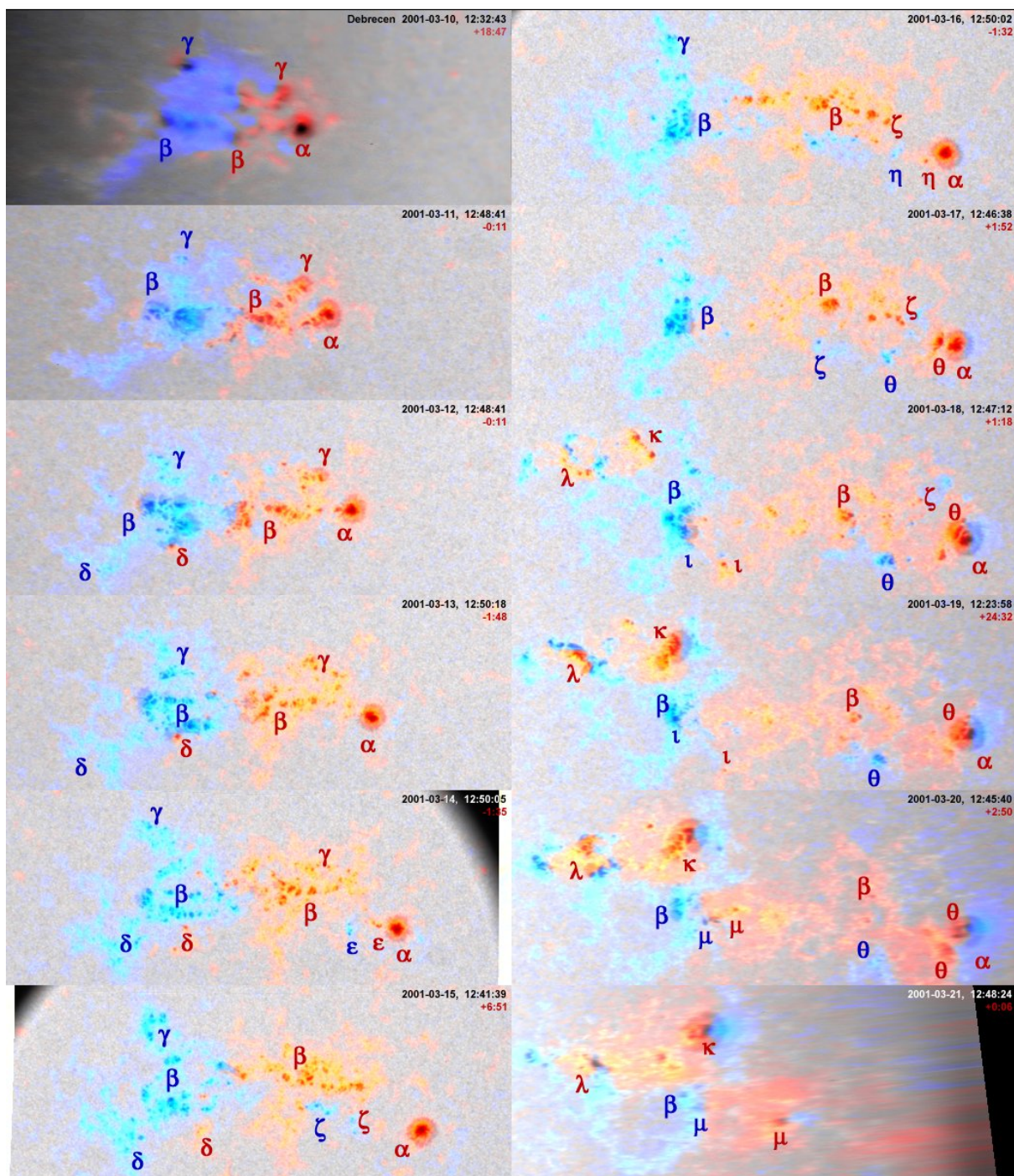
A NOAA 9373 sz. aktív vidék egy számot visel körülfordulása során, de a mágneses tereket és a napfolt-sajátmozgásokat figyelembe véve több, különböző korú bipoláris napfoltcsoportból áll. Az 1. képen látható a napfoltok fejlődése a TRACE fotoszféraképei alapján, amelyeken a SOHO MDI mérései szerinti látósugár irányú mágneses terek szerint a színtelítettség jelzi a mágneses tér erősségét (piros – déli, negatív, vezető, kék – északi, pozitív, követő polaritás). A képen görög betűkkel vannak jelölve a dipólok, szintén színkóddal a vezető és követő rész. A kép a Nap felületének egy héliografikus (Carrington) koordinátákkal meghatározott részén lefolyó fejlődést mutat, kiküszöbölve a perspektívus torzulásokat. Ugyanakkor a napfolt-umbrákban a felszínre merőleges, de a foltok külső, penumbrális részeiben kifelé hajló mágneses tér-szerkezet miatt a napperemhez közeli képeken (márc. 10-11. ill. 19-21.) látható a nagyobb umbrák külső (bal, ill. jobb) oldalán egy polaritásváltás. Ez annak a következménye, hogy a magnetogram a mágneses térnek csak a (könnyebben mérhető) látósugár irányú komponensét tartalmazza, ha a teljes mágneses vektor felszínre merőleges komponensét vennénk, ez a polaritásváltás nem történne meg (Hale & Nicholson 1938, Kálmán 1979)

Már a kezdetekben látható, hogy nem teljesen egyszerű bipoláris foltcsoporttal van dolgunk, hanem két, egymás „fölkött” (szélességben eltolt) dipóllal (β és γ), ami nem ritka. A vezető folt (α) teljesen külön egységet alkot, amint az mozgásából kiderül. A mágnesesen színkódolt fotoszféraképekből összeállított animáción

(<http://fenyi.solarobs.unideb.hu/~kalman/3-DbMovi.mov>)

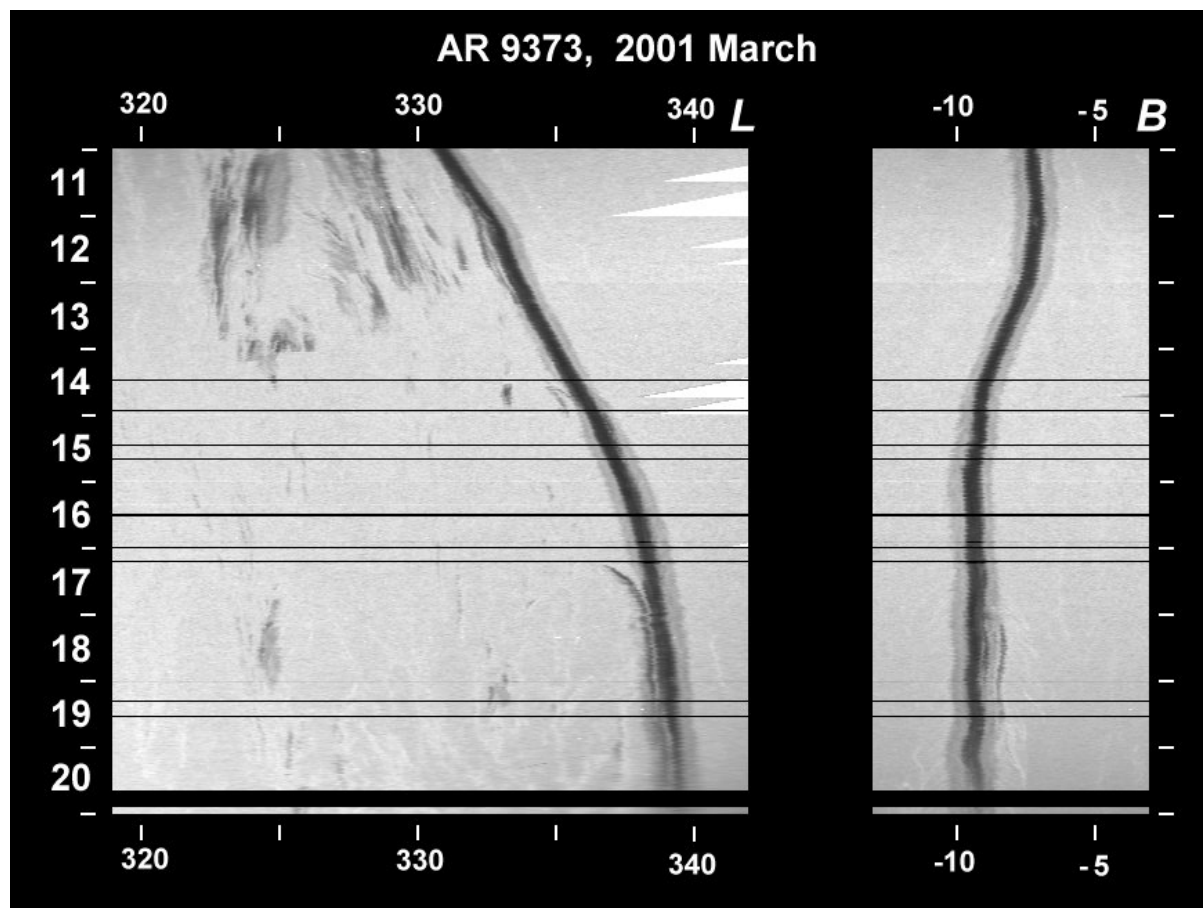
nyomon követhetjük, ahogy a vezető folt előremozgásában márc. 12-ről 13-ra hirtelen irányt vált, és mintegy „lebukik”, délnyugati irányba, másfél-két fokkal megváltoztatva héliografikus szélességét, magára hagyva a foltcsoport követő részét. Ez (az észak-déli irányú mozgás) rendkívül ritka eset, eddig mindössze egyszer találkoztam ilyennel a NOAA 7216-ban (Bumba, Klvana & Kálmán 1996), de ott a folt be volt szorulva a foltcsoport közepébe, és

Dipoles in AR NOAA 9373, March 2001



1.kép. A NOAA 9373 aktív vidékben lévő napfoltcsoportok fejlődése 2001. márc. 10-21 közt. Az első (debreceni) kép kivételével a TRACE fotoszféra-felvételei, Carrington-féle heliografikus koordinátarendszerbe transzformálva, és színkódolva a SOHO MDI látósugár irányú magnetogramjai alapján. Piros a vezető (déli, negatív), kék a követő (északi, pozitív) mágneses polaritás. A felvételek jobb felső sarkában a fotoszférakép ideje, alatta pirossal a magnetogram időeltérése. Görög betűkkel, szintén színkóddal vannak jelölve az egyes felismerhető bipoláris rendszerek vezető ill. követő részei

csak déli irányba tudott elmozdulni, itt viszont a vezető folt körül csak mögötte voltak foltok, nyugat felé szabad volt az út. A megszőkött vezető folt mögött néhány kis dipól felbukkan (ϵ , ζ , η), de ezek nagyon rövid életűek. Komoly változás kezdődik azonban 17-én reggel, amikor egy fél nap alatt gyorsan kifejlődik a vezető folt mögött a θ dipól (itt 0,7 km/s sebességek is mérhetők). Nagyon röviddel ezután az aktív vidék átellenes (északkeleti) oldalán gyors fejlődésnek indul a κ és λ dipól, amelyek, mivel akadálytalanul fejlődnek, a kezdeti kavargás után márc. 21-re letisztulnak, a vezető és követő mágneses polaritás különböző irányú mozgása során szabályos dipólszerkezetté alakulnak. Sajnos, ezután a Nap forgása kiviszi a látható félgömből a foltcsoportot, így tovább nem követhető a fejlődése.



2.kép. A vezető umbra csík-kamerás felvétele. A képen az idő felülről lefelé halad, bal szélén a 2001 márciusi dátumok vannak feltüntetve. A baloldali kép a negyedóránkénti felvételekből a napfolt közepén áthaladó azonos szélességű pixelsorokból lett összeállítva, míg a jobboldali az azonos hosszúságú (és 90 fokkal elforgatott) sorokból, tehát baloldalt a hosszúság, jobboldalt a szélesség szerinti mozgás figyelhető meg. A fekete csíkok a hiányzó felvételek helyén vannak. A baloldali képen látható, ahogy 17-én reggel kifejlődik és gyorsan előrehalad a θ dipól vezető foltja, amely beleütközik az α -ba, lefékeződik, de nem olvad össze vele. 14-én szintén a két fekete vonal közt látszik az ϵ dipól vezető pórújának gyors mozgása, ez bele is olvad az α umbrájába. A jobboldali képen jól látható a közel 2 fokos szélességváltozás márc. 12-15 közt.

A 2. képen csík-kamerás felvételen jobban megfigyelhető a vezető folt mozgása, egyrészt a hosszúságban a jellemző, állandó előremozgás, amely később lelassul. Szélességben a

feltok ritkán mozognak jelentősen, az ábrán is látható, hogy márc. 15-e után a felt szélessége nem változik, viszont előtte két nap alatt közel 2 fokot csökken.

A foltcsoport fejlődése magyarázható az eddigi sok éves tapasztalatok alapján kialakított elképzeléssel, amely részben a szakirodalomban is megtalálható ötleteken alapul. Eszerint a napfolt-csoportokat a konvektív zóna aljáról (ahol a dinamó-mechanizmus működik) felbukkanó erővonal-kötegek alakítják ki. Ezek eleinte összeköttetésben vannak a mélységi toroidális térrel (Ω -hurok), de előbb-utóbb leszakadnak, a mágneses térük átkötődik (O hurok), majd a turbulencia felmorzsolja az alsó részt, csak a legstabilabb, többnyire vezető feltok maradnak meg, amelyeket a körülöttük levő áramlás stabilizál (ω -hurok). Ezek már sekély képződmények, amelyek a konvektív zóna tetején úsznak, és végül a peremük felől ezeket is elfogyasztja a turbulencia (Kálmán 1997). Az instabilitás a mélyben hosszab ideig is megmaradhat, ismert tény, hogy a létező napfoltcsoportokban lényegesen nagyobb valószínűséggel bukkan fel új mágneses tér (Liggett & Zirin 1985, Harvey & Zwaan 1983). Az adott esetben is megfigyelhető új mágneses tér felbukkanása, amelyet gyors fejlődés és mozgások jellemeznek, továbbá az, hogy a régi erővonalrendszerhez tartozó umbrák konvergens mozgás után beleolvadnak a vezető umbrába (ϵ dipól vezető pórusa, 1, 2. kép), míg az új, független umbrák ha össze is ütköznek a régiekkel, nem olvadnak össze, csak deformálódnak (θ dipól vezető része, 1, 2. kép). Az aktív vidék fejlődése tehát úgy értelmezhető, hogy alóla új mágneses fluxus akart felbukkanni, de a fent úszó régi struktúra ezt nem engedte, ezért két oldalán bukkant fel, közel egyszerre (délnyugaton a θ , északkeleten a κ - λ dipólok). A két mágneses struktúra közt nincs kölcsönhatás, ez jól látszik a TRACE koronaképein, és magyarázza az egyébként gyorsan fejlődő, bonyolult napfoltcsoport-rendszer csekély aktivitását.

4. Publikáció és további tervek

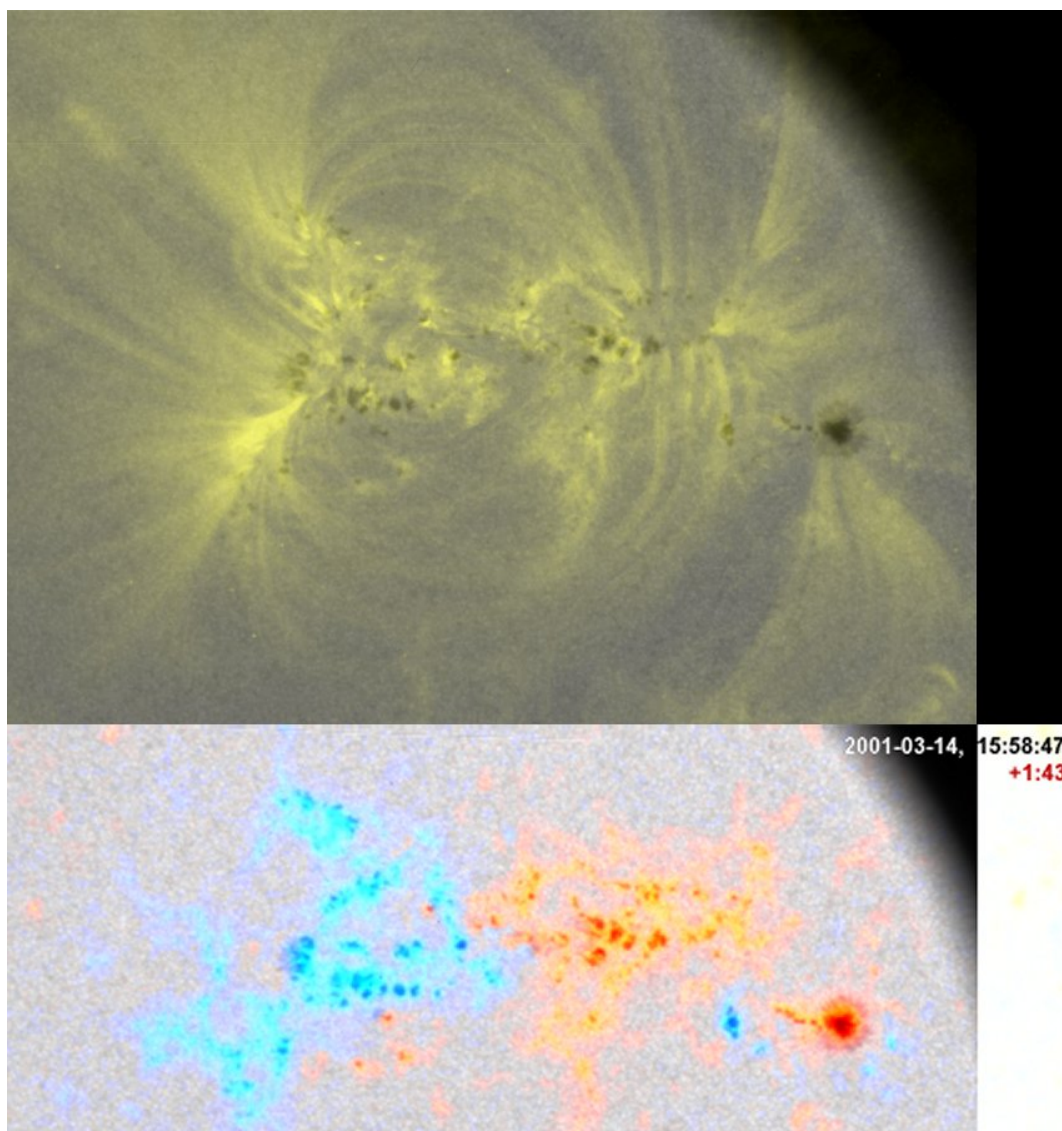
Az előzőekben felsorolt eredmények publikálása tudományos folyóiratokban még nem történt meg. Az irodalomjegyzékben megemlített cikk (Kálmán 2002) még az előző OTKA pályázatomban (T025737) eredményeit tartalmazza (megjelölve az OTKA támogatást), az előző zárójelentés idején még nem jelent meg, ezért írtam be. A jelenlegi vizsgálatok meglehetősen időigényesek voltak, és magánéleti problémáim (feleségem egyre súlyosbodó betegsége, majd halála 2004 augusztusában) éppen akkor akadályoztak, amikor már elkezdtem a publikáció előkészítését. 2004 végén – 2005 elején három helyen tudományos előadásban ismertettem az eredményeket (az OTKA támogatás megjelölésével):

- A 24. Magnetoszféra-Ionoszféra szemináriumon Debrecenben 2004 novemberében, az előadás és az animációk megtalálhatók honlapomon:
(<http://fenyi.solarobs.unideb.hu/~kalman/kalman.html>)
- Az MTA Csillagászati és Űrkutató bizottságának tudományos ülésén 2005. máj. 10-én
- Az MTA Csillagászati és Űrkutató bizottságának ülésén 2005. máj. 25-én.

Sajnos, azonban a kézirat teljes elkészítéséig nem jutottam az egyre fokozódó szívpanaszaim miatt, amelyek végül 2005 szeptemberében műtéti beavatkozáshoz vezettek, emiatt egy külföldi konferencián való részvételem - bejelentett előadással - is elmaradt. Mivel az aktív vidék fejlődésére vonatkozó anyag gyakorlatilag kész, „mindössze” a tényleges cikk kéziratának befejezése van hátra, ezt mihamarabb szeretném megtenni és beküldeni a *Solar Physics*-nek közlésre.

Részben az is hozzájárult a késedelemhez, hogy a fejlődés és foltmozgások vizsgálata után arra gondoltam, hogy hozzá lehetne venni a kapcsolódó kromoszférikus és korona-aktivitást is, amihez újabb anyagokat gyűjtöttem be a TRACE archívumból (3. kép). Mivel azonban ez megint időigényes feldolgozást jelent, inkább külön veszem a fotoszférát, a

kormoszférikus aktivitás és az új mágneses tér behatolása a koronába egy következő cikk tárgya lehet. Szeretnék élni a tudományos értékelés két évvel való elhalasztásának lehetőségével.



3. kép. Fent: TRACE 171 Å koronakép és fotoszférakép kombinációja, látható, hogy a vezető foltnak nincs kapcsolata a követő résszel. Lent: ugyanaz a fotoszférakép, szinkódolva a SOHO MDI mágneses méréseivel.

IRODALOM

- Bumba, V., Klvana, M. & Kálmán, B., 1996: *Astron. Astrophys. Suppl.* **118**:35
 Hale, G. E. & Nicholson, S. B., 1938: *Magnetic Observations of Sunspots 1917-1924*, Carnegie Institution, Washington.
 Kálmán, B., 1979: *Izv. Krymskoj Astrophys. Obs.* **60**:114
 Kálmán, B., 1997: *Astron. Astrophys.* **327**:779
 Kálmán, B., 2002: *Solar Phys.* **209**:109
 Liggett, M. A. & Zirin, H., 1985: *Solar Phys.* **169**:79
 Harvey, K. & Zwaan, C., 1993: *Solar Phys.* **148**:85